SALVĂRILE DE VASE PE DUNĂRE

de Inginer COSTIN MIHĂILESCU

Războiul actual, printre atâtea pierderi materiale și de vieți omenești, a adus și pierderea unui însemnat număr de vase de Dunăre. Au fost scufundate: remorchere, șlepuri, tancuri, șlepuri-motoare, tancuri-motoare, vase de pasageri, vase militare, șalupe etc. Vasele scufundate au fost sub diferite pavilioane: românești, franceze, jugoslave, bulgărești, grecești, germane, etc.

Statistica completă a vaselor înnecate pe Dunăre nu s'a făcut încă. In prima parte a războiului s'a înnecat vase în special pe Dunărea Maritimă, din jos de Galați. Vasele înnecate în a doua fază a războiului se găsesc în special pe Dunărea de Sus, în sus de Calafat precum și în porturile Brăila și Galați. Numărul vaselor înnecate în faza a doua a războiului este mult mai mare decât numărul vaselor înnecate în faza întâia. Aproape toate scufundările s'au întâmplat cu ocazia retragerii trupelor germane la finele lunii August și începutul lunii Septemvrie 1944. Foarte multe vase au fost scufundate în dreptul micului port jugoslav Prahovo, cu scopul de a bara navigația pe Dunăre; vasele au fost scufundate de trupele germane dela malul românesc spre malul jugoslav, navigând în derivă.

Scufundările vaselor s'au produs prin mine de curent, mine de fund, mine magnetice, bombardamente aeriene, scufundări voluntare provocate de echipajele vaselor prin desfacerea valvurilor de fund sau spargerea fundului vaselor, etc.

Și în războiul mondial trecut au fost înnecate multe vase fluviale pe Dunăre, dar în număr mult mai mic decât în războiul actual mondial.

Vasele scufundate pe Dunăre trebuesc — cele mai multe — să fie scoase, deoarece constituesc obstacole pentru navigație. Unele astfel de leșuri de vase sunt înnecate chiar în șenalul navigabil. Altele provoacă depuneri de aluviuni ale Dunării deasupra epavei sau în jurul ei, formânduse cu timpul ostroave, fie pe epavă, fie în amonte de epavă, fie în aval de ea. Bancurile astfel formate în mod, putem spune, artificial strică regimul de scurgere al fluviului pentru un timp relativ îndelungat, ceea ce împiedecă navigația.

Vasele scufundate în Dunăre au marele avantaj că nu sunt atacate de apa Dunării. Ele se conservă perfect pe timp îndelungat, mai bine decât în stare de plutire la suprafața apei. Acest fenomen se datorește următoarelor cauze: apa Dunării este dulce, puțin dură și puțin acidă, ea este netransparentă din cauza aluviunilor multe ce le poartă în suspensie; în fine, aceste aluviuni — majoritatea argiloase — se depun repede în și împrejurul epavei înnecate și o izolează împotmolind-o. Toate aceste cinci cauze concură în a feri epava de oxidare.

Prin urmare prin scoaterea epavelor din Dunăre se obține nu numai degajarea șenalului pentru navigație, dar se și recuperează unitățile fluviale înnecate.

Nu tot astfel se întâmplă cu vasele scufundate în apa mărilor. Aci vasele sunt atacate, chimicește vorbind și în special suferă mașinele, la care coroziunile cele mai mici sunt dăunătoare. Având în vedere și faptul că în mări și oceane vasele se înneacă de obiceiu la adâncimi mari, unde lucrul scafandrierilor este greu sau imposibil și fiindcă navigația nu este împiedecată de aceste epave, ele se abandonează de obiceiu. Numai vasele înnecate în porturile maritime se scot, cu scopul principal de a se degaja porturile.

* * *

Scoaterea vaselor înnecate pe Dunărea românească se face de Serviciul Hidraulic din Administrația Comercială a Porturilor și Căilor de Comunicație pe Apă (P. C. A.). Alte organizații pentru astfel de lucrări nu există pe Dunăre până în prezent.

Serviciul Hidraulic dispune de aparate speciale pentru scos vasele înnecate. Toate aceste aparate au fost proiectate și majoritatea construite în țară, în șantierele de pe Dunăre dela T.-Severin și Giurgiu. Cele mai însemnate sunt următoarele: un grup de două pontoane ridicătoare dotat și cu pompe, un grup de două șlepuri ridicătoare, un șlep special cu pompe mari, o macara plutitoare de 50 tone, trei macarale plutitoare de 15—25 tone, cinci macarale mici de 3—5 tone, aparate de scafandru, remorchere, etc.

Serviciul Hidraulic mai dispune pentru astfel de operațiuni de ceva esențial: de personal specializat pentru astfel de lucrări. Meritul formării actualului personal revine d-lui Ing. Insp. G-ral *Const. Voiosu.*

Procedeele de scoaterea vaselor înnecate pe Dunăre sunt variate, depinzând dela caz la caz după epavă, poziția ei, adâncimea la care este scufundată, etc. In primul rând se trece la îndepărtarea depunerilor de nisip sau argilă din vas. Astfel de depuneri se află în toate spațiile goale ale vasului. Câteodată întregul vas este îngropat într'un banc de depuneri. Curățirea depunerilor din interiorul vaselor se face astfel: ele sunt dislocate cu ajutorul unui jet puternic de apă, care țâșnește sub presiune mare dintr'o conductă flexibilă de 100 mm diametru redusă la capăt la 30 mm diametru. Ea este condusă sub apă de scafandri. In același timp depunerile dislocate și amestecate cu apă sunt absorbite de alte pompe centrifugale prin niște conducte de 300 mm diametru. După curățirea vasului se trec chingi puternice metalice pe

sub vas, după care urmează ridicarea vasului cu ajutorul vinciurilor și a forței de plutire a aparatelor de ridicare. Alte ori vasele înnecate se scot numai prin pompaje. Voi da mai departe două astfel de exemple, la care ranfluările vaselor s'au făcut în esență numai cu pompele.

SCOATEREA REMORCHERULUI GRANARIA

Acest remorcher (fig. 1) se înnecase în anul 1922 în râul Siret, la 400 m dela gura sa de vărsare în Dunăre. Innecarea s'a produs din cauza unei manevre greșite făcute cu niște plute de lemne, cu care

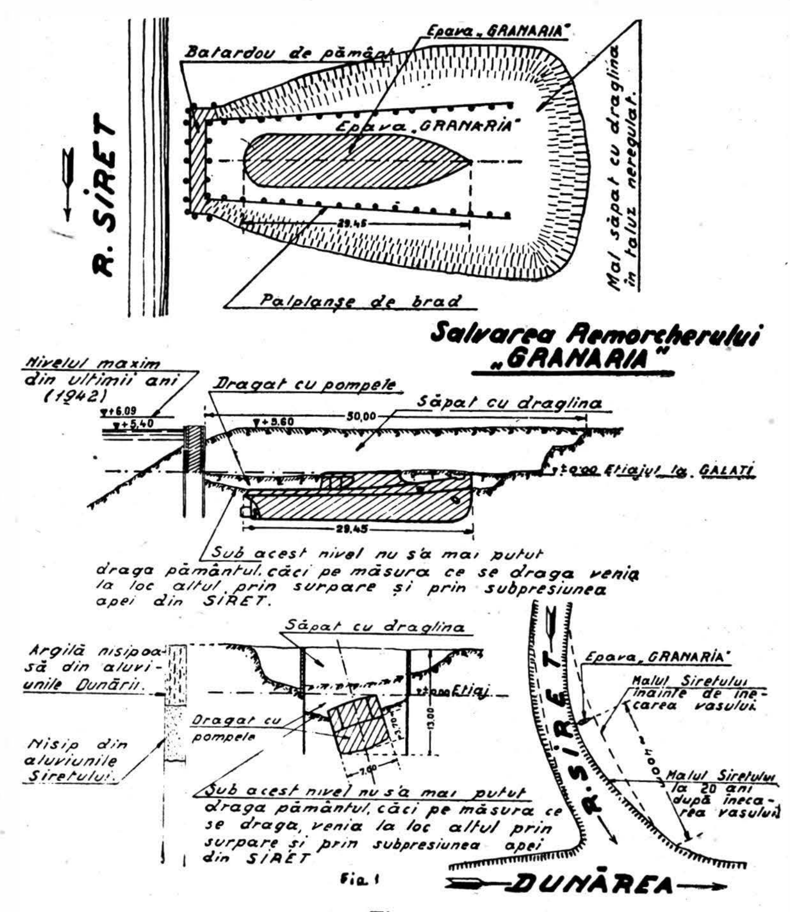


Fig. 1.

ocazie vasul s'a înclinat prea mult, apa a intrat pe ferestrele mici rotunde (hublots) și vasul s'a scufundat în câteva minute. In câțiva ani vasul a fost complet înnisipit, rămânând îngropat într'un banc de argilă nisi-

poasă. Cu timpul, Siretul a fost obligat să-și mute albia în spre malul drept, astfel că bancul cu epava a rămas pe malul stâng. Aluviunile depuse ulterior de Siret, dar mai ales de Dunăre, pe maluri, au înălțat acest loc, sub care era epava, până i-au dat înălțimea curentă a restului malurilor (+5,60 m peste etiajul Dunării la Galați).

Pe scurt, în anul 1943 când s'a pus chestiunea scoaterii acestui vas, el nici nu se mai știa precis unde se află, fiind relativ departe de Siret, în uscat. După scoaterea lui s'a constatat că vasul se află la 40 m depărtare de apa Siretului și la 13 m adâncime sub nivelul solului malului.

Locul epavei a fost determinat prin multe sondaje făcute vertical prin pământ cu o bară rigidă de oțel de 24 mm diametru, formată din trei tronsoane ce se înșurubau unul într'altul pentru prelungire.

Cantitatea enormă de depuneri de deasupra vasului a fost îndepărtată cu ajutorul unui escavator pe șenile. In felul acesta s'a săpat o groapă de 7,50 m adâncime până la partea superioară a epavei, după cum se vede în figura 1. Pereții de pământ ai escavațiunii au fost susținuți printr'un batardou simplu de lemn spre a nu se surpa pământul peste epavă. Nu s'au putut săpa malurile escavațiunii în taluz, deoarece s'ar fi mărit foarte mult volumul de săpătură și s'ar fi întins prea mult ampriza groapei peste grădini de zarzavaturi.

După săpătură s'a constatat că pământul aflat deasupra epavei era format din argilă nisipoasă fină provenită din depunerile Dunării, iar

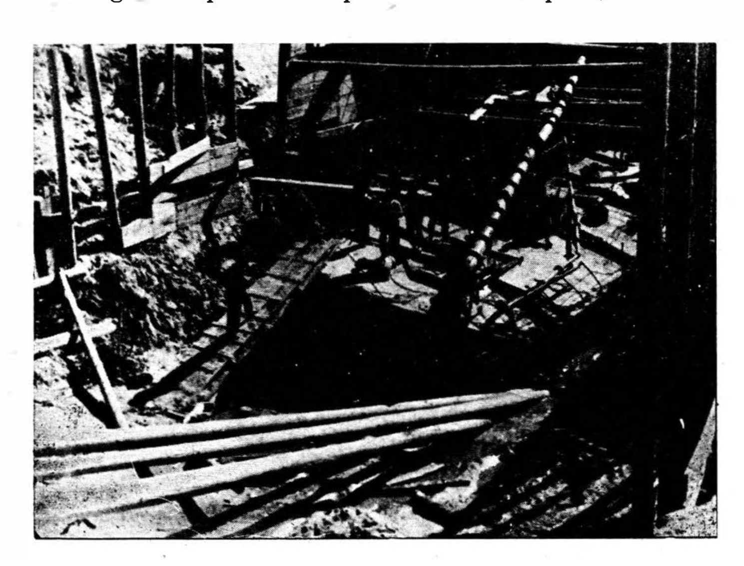


Fig. 2. — Remorcherul Granaria în timpul lucrărilor de salvare.

pământul aflat dela fața de sus a epavei în jos era format din nisip provenit din aluviunile Siretului. Ambele straturi erau puțin dense, ceea ce este explicabil fiind formațiuni recente aluvionare.

După terminarea săpării groapei cu escavatorul până la fața superioară a epavei, s'a adus un șlep cu pompe puternice de 1200 tone/oră debit și s'a continuat îndepărtarea pământului — respectiv a nisipului — depus. S'a curățat întâi vasul la interior spre a-l ușura, s'au închis etanș toate ferestrele, apoi s'a dragat pământul în jurul vasului cu pompele.



Fig. 3. — Remorcherul Granaria, salvat, plutește în groapa sa.

Dar dela un nivel în jos — aproximativ dela nivelul covertei în jos — operațiunea nu a mai reușit: pe măsură ce se draga pompele, alt nisip venea la loc pe dedesubt sub presiunea apei din Siret și lateral din maluri.

Stratul de nisip era foarte aquifer, adică avea un volum mare de pori și aceștia plini cu apă. Ținând seama de aceasta și fiindcă operațiunea de dragarea pământului din jurul vasului nu reușea, s'a înjectat cu pompele apă sub presiune de jur împrejurul vasului, de-a-lungul bordurilor. In felul acesta s'a învins aderența vasului de nisip și în același timp s'a format o peliculă de apă în jurul corpului vasului, care a fost suficientă pentru ca vasul să se salte, punându-se în stare de plutire în groapa escavată.

Ulterior s'a săpat un șanț între groapa epavei și Siret și vasul a fost tras afară.

Remorcherul a fost găsit perfect conservat, fără nicio coroziune. Numai coșul metalic a fost găsit rupt și căptușelile de lemn avariate. Acest vas e un remorcher din cele mai mari și mai puternice, având 500 C. P. și putând naviga și pe Mare (v. fig. 2 și 3).

RANFLUAREA MOTONAVEI STENKA RAZIN

Motonava Stenka Razin (v. fig. 4) — un cargobot de circa 5300 tone deplasament — a fost adusă în Dunăre de Marina de Războiu germană dela Șantierul Naval din Nicolaeff. Vasul era în curs de construcție, fiind aproape terminat, cu motoarele la bord dar încă nemontate. La

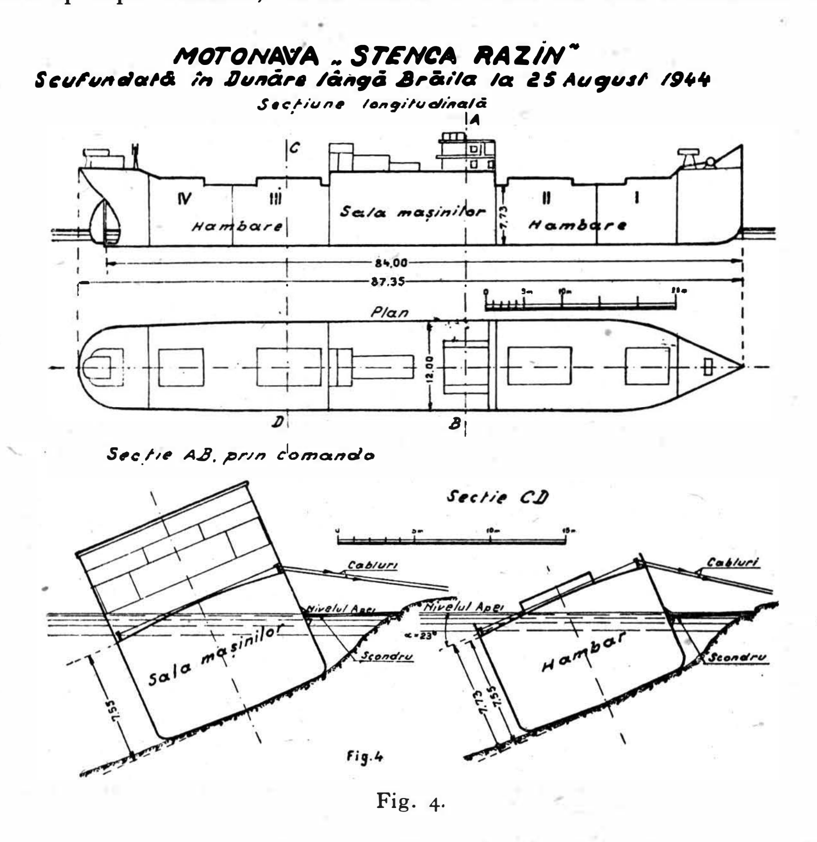


Fig. 4.

25 August 1944, cu ocazia retragerii precipitate a trupelor germane din România, vasul a fost scufundat în Dunăre de echipajul său german, în apropiere de Brăila pe Brațul Măcin, km 6,5 la malul drept.

Situaţia în care a fost găsită această motonavă se vede în fig. 4. Coverta era parte sub apă, parte deasupra nivelului apei. Vasul era înclinat cu 23° faţă de verticală.

Scufundarea vasului s'a făcut prin deschiderea a cinci valvule diferite dela fundul său şi din borduri precum şi prin deschiderea ferestrelor din borduri (hublots) după cum s'a constatat după salvarea vasului. După scufundare au rămas sub apă şi diferite alte orificii dela covertă.

Situaţia aceasta se prezenta în zilele când s'a procedat la ranfluarea navei (Martie 1945), cota apei Dunării fiind la Brăila + 4,30 m deasupra etiajului. La ape mici vasul ar fi avut o parte mai mare din corpul său afară din apă. Era convenabil însă ca operaţiunile de ranfluare să se execute la acest nivel de apă adică astfel ca apa să nu fie prea mare ca să nu ajungă la gurile hambarelor şi nici prea scăzută ca vasul să aibă în ce să plutească cu ocazia mişcărilor sale din timpul operaţiunilor de ranfluare. De fapt, nivelul optim al apei ar fi fost cu 0,60 m mai jos, adică la cota + 3,70 m.

Serviciul nostru de salvări neposedând aparate de ridicat suficient de mari pentru vase de Mare, s'a întocmit planul de salvarea motonavei Stenka Razin numai prin pompaje.

In primul rând s'a cercetat vasul la interior cu scafandri, căutându-se spărturile sau orificiile prin care a intrat apa la scufundarea vasului. Nu s'au găsit spărturi ci numai orificii deschise, care s'au închis toate cu ajutorul scafandrilor şi anume: cinci valvule de fund şi din borduri, 10 ferestre mici rotunde (hublots) în bordul drept şi şase orificii diverse pe covertă sub apă, care s'au astupat cu cepuri de lemn. Unele valvule şi orificii s'au descoperit că se află deschise prin pomparea puternică a apei din vas şi constatarea curentului de apă ce pătrundea în vas la loc prin orificiul respectiv rămas deschis.

Având în vedere că vasul în timpul ridicării lui urma să se mai încline încă, din cauza deplasării centrului de greutate al apei din vas în spre bordul dela larg, mărind deci momentul de răsturnare, s'au luat următoarele măsuri de siguranţă: vasul a fost legat cu 10 cabluri de oţel 24—36 mm diametru fiecare cablu de câte două sălcii groase de pe mal. Cablurile au fost montate astfel ca efectul lor să fie al unui moment de redresare pentru vas (v. fig. 4 şi 11). Intre cabluri şi sălcii s'au intercalat, pe fiecare cablu, câte un cabestan (argat) cu ajutorul căruia se putea întinde cablul sau se putea slăbi. Pe de altă parte, pentru ca prin tracţiunea cablurilor vasul să nu se apropie de mal şi să nu se înţepenească în el, s'au montat mai multe grinzi groase de brad Ø 35 cm

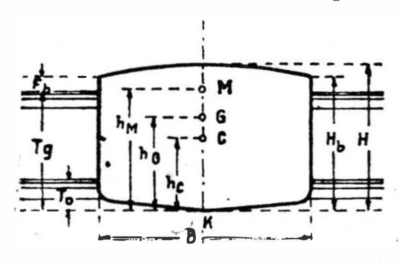


Fig. 5. — Caracteristicile vasului.
M = Metacentru.
G = Centru de greutate al vasului.
C = Centru de carenă.

(scondri) între mal şi bordul dela uscat al vasului, executându-se ceea ce se chiamă o scondrare.

Inainte de a trece la descrierea modului cum au decurs fazele ranfluării vasului este necesar să redăm mai jos caracteristicile vasului. Unele caracteristice sunt măsurate, unele sunt calculate iar altele sunt apreciate prin comparaţie cu alte vase similare construite (v. Johow: Foerster, vol. II), v. fig. 5.

		Modul deducerii datelor
L_t	= 87,35 m = lungimea totală a vasului.	măsurat
L_{pp}	= 84,00 m = lungimea între perpendiculare . .	»
B	= 12,00 m = lăţimea vasului	»
H	= 7,73 m = înălţimea la mijlocul secţiunii mari (cuplul maestru)	»
H_b	= 7,55 m = înălţimea la bordul vasului, dela chilă la covertă	»
T_m	= 1,88 m = pescajul vasului astfel cum s'a găsit adică cu aproape toate maşinile la bord, dar fără lucrările de lemnărie, fără cabine, fără mobilier, fără inventar etc.	»
T_o	= 1,46 m = pescajul vasului gol chiar fără maşini	calculat

$$T_o = \frac{D_o}{L_{pp} \times B \times \delta_o} = \frac{1.100}{84 \times 12 \times 0,75} = 1,46 \text{ m}$$

T_g	= 6,80 m = pescajul vasului complet încărcat .	apreciat
Fb	= 0,75 m = francbordul	»
δ_o	= 0,75 m = coeficientul de fineţe la vasul gol .	»
δ	= 0,77 m = coeficientul de fineţe la vasul încărcat	»
D_o	= 1.100 tone = deplasamentul vasului gol chiar fără maşini	calculat

$$D_o = D_m - 6\% \, D = 1.420 - 0,06 \times 5.300 = 1.100 \text{ tone}$$

D_m	= 1.420 tone = deplasamentul vasului astfel cum s'a găsit, cu maşini dar fără lucrările de lemnărie, fără mobilier şi fără inventar	»

$$D_m = L_{pp} \times B \times T_m \times \delta_o = 84 \times 12 \times 1,88 \times 0,75 = 1.420 \text{ tone.}$$

D	= 5.300 tone = deplasamentul vasului complet încărcat	»

$$D = L_{pp} \times B \times T_g \times \delta = 84 \times 12 \times 6,80 \times 0,77 = 5.300 \text{ tone}$$

h_{G_o}	= 6,000m = înălţimea centrului de greutate al vasului, socotită dela chilă, pentru vasul gol chiar fără maşini . . .	apreciat şi calculat

$$h_{G_o} = 0,65 - 0,85 \, H_b \approx 0,795 \times 7,55 = 6 \text{ m}$$

$h_{G_{înc.}}$ = 5,00 m = înălțimea centrului de greutate al vasului socotit dela chilă, pentru vasul complet încărcat . . . . . . apreciat și calculat

$$h_{G_{înc}} = 0{,}6—0{,}8\ H_b \approx 0{,}663 \times 7{,}55 = 5 \text{ m}$$

h_{C_0} = 0,75 m = înălțimea centrului de carenă al vasului, socotită dela chilă, pentru vasul gol . . . . calculat

$$h_{C_0} = T_0 — T_0 \times C_4 = 1{,}46 — 1{,}46 \times 0{,}483 = 0{,}75 \text{ m}$$

C_4 se calculează după formulele Bauer (Johow-Foerster, vol. I, pag. 135, ed. V).

$h_{C_{înc.}}$ = 3,55 m = înălțimea centrului de carenă al vasului, socotită dela chilă, pentru vasul complet încărcat . . . . . »

$$h_{C_{înc.}} = T_g — T_g \times C_4 = 6{,}80 — 6{,}80 \times 0{,}478 = 3{,}55 \text{ m}$$

h_{M_0} = 8,85 m = înălțimea metacentrului socotită dela chilă pentru vasul gol . . . . . »

$$h_{M_0} = h_{C_0} + \frac{B^2}{T_0} \times C_6 = 0{,}75 + \frac{12^2}{1{,}46} \times 0{,}082 = 8{,}85 \text{ m}$$

C_6 se calculează după formulele Bauer (v. Johow-Foerster, vol. I, pag. 135, ed. V).

$h_{M_{înc.}}$ = 5,30 m = înălțimea metacentrului socotită dela chilă pentru vasul complet încărcat »

$$h_{M_{înc.}} = h_{C_{înc.}} + \frac{B^2}{T_g} \times C_6 = 3{,}55 + \frac{12^2}{6{,}80} \times 0{,}0824 = 5{,}30 \text{ m.}$$

$\overline{MG_0}$ = 2,85 m = înălțimea metacentrică pentru vasul gol = înălțimea metacentrului față de centrul de greutate pentru vasul gol . . . . »

$$\overline{MG_0} = h_{M_0} — h_{G_0} = 8{,}85 — 6{,}00 = 2{,}85 \text{ m.}$$

$\overline{MG_{înc.}}$ = 0,30 m = înălțimea metacentrică pentru vasul complet încărcat . . . . »

$$\overline{MG_{înc.}} = h_{M_{înc.}} — h_{G_{înc.}} = 5{,}30 — 5{,}00 = 0{,}30 \text{ m.}$$

Analizând mersul operațiunilor de ranfluarea vasului putem deoseb următoarele cinci faze:

Faza I (fig. 6). Orificiile vasului sunt deschise. Subpresiunea apei V asupra vasului este nulă. Greutatea totală a vasului gol P și greutatea mașinelor p — alunecate în spre bordul dela larg — sunt micșorate cu o cantitate foarte mică egală cu volumul tablelor și celorlalte elemente ale vasului și mașinelor scufundate în apă, astfel că greutatea vasului gol devine $P' < P$ cu puțin și greutatea mașinilor devine $p' < p$ cu

puţin. Avem:

$$Q = P + p \qquad Q' = P' + p' \qquad Q \approx Q'$$

In această fază vasul se reazemă pe fundul Dunării. Echilibrul său este asigurat prin reacţiunea pe pământ $R = Q'_v$ şi prin frecarea vasului pe pământ $F = Q'_h = Q'_v \times \mathrm{tg}\,\varphi$ unde φ este unghiul de frecare al tablelor vasului pe pământ.

Faza II (fig. 7). Orificiile vasului, prin care apa din Dunăre corespundea cu apa din vas, s'au închis —atât cele dela fund, cât şi cele din

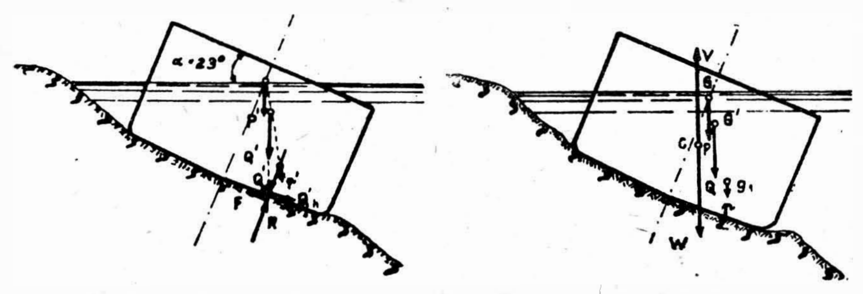


Fig. 6. — Vasul în faza I. Fig. 7. — Vasul în faza II.

borduri şi cele de pe covertă. Apare subpresiunea apei V egală cu volumul carenei vasului şi egală de asemenea cu greutatea apei din vas W, ambele aceste forţe fiind aplicate în centrul de carenă C al vasului înclinat. Notând cu S secţiunea maximă muiată şi cu δ coeficientul de fineţe al acestei carene avem:

$$V = W = S \times L_{pp} \times \delta = 75{,}4 \times 84 \times 0{,}77 = 4.870 \text{ tone}$$

unde

$$S = 3{,}95 \times 12 + \frac{1}{2} \times (12 + 3{,}50) \times 3{,}60 = 47{,}5 + 27{,}9 = 75{,}4 \text{ m}^2$$

$$Q = P + p = 1.100 + 320 = 1.420 \text{ tone}$$

Faza III (fig. 8). S'a început pomparea apei din vas, astfel că nivelul

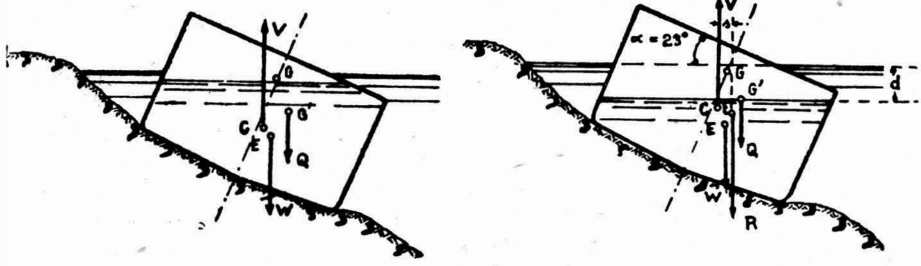


Fig. 8. — Vasul în faza III. Fig. 9. — Vasul în faza IV la începutul ridicării

apei în vas scade, scăzând deci forța W și schimbându-și punctul de plecare din C în altă poziție oarecare E mai în spre bordul dela larg complet imersat. Dar W nu a scăzut încă prea mult astfel că avem:

$$V < W + Q$$

Deci vasul încă nu se ridică. Momentul forțelor ar fi de răsturnare dacă vasul nu ar sta pe fundul albiei.

Faza IV (fig. 9). Se continuă pomparea apei din vas până ce devine:

$$V = W + Q = R$$

$$W = V - Q = 4.870 - 1.420 = 3.450 \text{ tone}$$

Nivelul apei în vas a scăzut cu înălțimea d față de nivelul inițial. Rezultă din calcul că $d = 1{,}95$ m.

Vasul este pe punctul de a începe să se ridice, dar în același timp are tendința de a se înclina mai mult, momentul de stabilitate fiind negativ. Acest moment de stabilitate negativ recte moment de răsturnare se calculează astfel (v. fig. 10):

Presupunem că lichidul W este solidificat și cu centrul de greutate în axa vasului și că mașinele p nu au alunecat încă în spre bordul drept. In această situație inițială avem:

$$V = R = W + P + p = 3.450 + 1.100 + 320 = 4.870 \text{ tone}$$

$$M_{st} = R \times \overline{G_0H} = R \times \overline{G_0M_1} \times \sin\alpha = R\,(h + a)\sin\alpha$$

unde $\overline{C_0M_1} = h \qquad \overline{G_0C_0} = a$

De obiceiu termenul $(h + a)$ este $(h - a)$, căci centrul de greutate G_0 al vasului încărcat este de obiceiu deasupra centrului de carenă C_0. Aci G_0 este însă sub C_0 deoarece apa din vas este concentrată spre fundul vasului, iar vasului îi lipsește parte din suprastructură (cabine, inventar, etc.) care se concentrează la partea de sus a vasului; în schimb nu-i lipsesc mașinele p care sunt concentrate toate la fundul lui.

In această situație ipotetică avem (fig. 11):

$W = 3.450$ t aplicat în E_0 la $KE_0 = 2{,}34$ m
$p = 320$ t aplicat în g_0 la $Kg_0 = 2{,}00$ m
$P = 1.100$ t aplicat în G la $KG = 6{,}00$ m
$R = 4.870$ t aplicat în G_0 la $KG_0 = 3{,}15$ m

Centrul de carenă pentru deplasamentul $V = R = 4.870$ tone și vasul neînclinat este în C_0 la $KC_0 = 3{,}28$ m.

Trecând la situația reală cu apa lichefiată și mașinele alunecate în spre bordul dela larg și ținând seama de o teoremă din Mecanică (într'un sistem de forțe dacă deplasăm o forță cu o anumită distanță, atunci se deplasează și centrul de aplicare al rezultantei tuturor forțelor paralel cu deplasarea punctului de aplicare al forței deplasate și aceasta pe o distanță astfel că cele două deplasări sunt invers proporționale cu forțele

respective) avem:

$$\overline{G_0G_1} = \overline{E_0E_1} \times \frac{W}{R} = 1{,}22 \times \frac{3.450}{4.870} = 0{,}79 \text{ m} \quad \text{și} \quad \overline{G_0G_1} \parallel \overline{E_0E_1}$$

$$\overline{G_1G_{g1}} = \overline{g_0g_1} \times \frac{p}{R} = 2{,}50 \times \frac{320}{4.870} = 0{,}16 \text{ m} \quad \text{și} \quad \overline{G_1G_{g1}} \parallel \overline{g_0g_1}$$

E_1 punctul de aplicare al forței W s'a determinat grafic pe cuplul maestru al vasului.

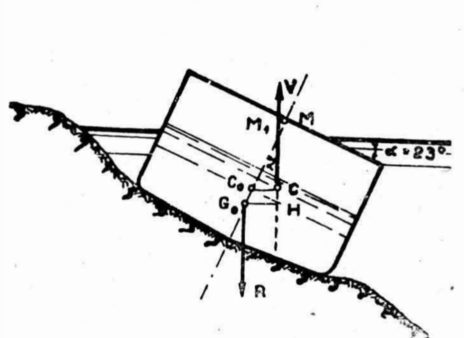


Fig. 10. — Calculul stabilităţii vasului în faza IV. Lichidul considerat solidificat în starea iniţială ($\alpha = 0^0$).

Fig. 11. — Calculul stabilităţii vasului în faza IV.

g_1 centrul de greutate al mașinilor deplasate se află la 2,50 m de axa vasului și la 2,00 m înălțime de la fund, determinat prin apreciere și măsurare la vas.

Momentul de stabilitate devine:

$$M'_{st} = R \times s = R \times \overline{G_{g1}H} = R\,(\overline{M_1G_0} - \overline{AG_0}) \sin\alpha = R \times \overline{AM_1} \times \sin\alpha$$

$$\overline{AG_0} > \overline{M_1G_0} \quad \text{deci} \quad M'_{st} < 0 \quad \text{adică negativ}$$

deci avem de fapt un moment de răsturnare:

$$M_{răst.} = -M'_{st} = R \times \overline{AM_1} \times \sin\alpha = 4.870 \times 0{,}70 \times 0{,}391 =$$
$$= 4.870 \times 0{,}273 = 1.332 \text{ tm.}$$

Brațul de pârghie $= \overline{G_{g1}H} = s = 0{,}273$ m.

Deci în faza IV vasul începe să se ridice de pe fund dar în același timp se înclină mai mult.

Faza V (fig. 12). In această fază se continuă pomparea apei din vas. Vasul continuă a se ridica dar în același timp se înclină mai mult, fiind în pericol de a se răsturna. Intr'adevăr:

W = greutatea apei din vas scade și centrul de greutate respectiv E se deplasează în spre bordul imersat.

$Q = P + p$ = greutatea vasului gol și a mașinilor rămâne constantă ca mărime și punct de aplicație G'.

$V = W + Q$ = subpresiunea apei scade în măsura în care W scade.

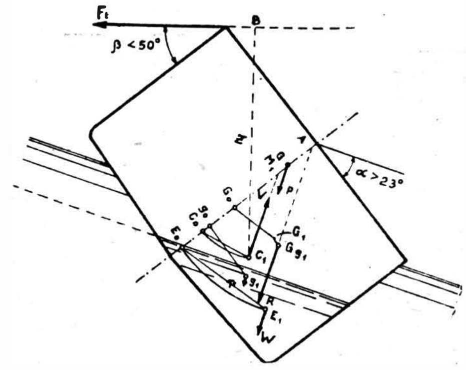


Fig. 12. — Vasul în faza V. Se ridică dar se înclină.

Inceputul fazei V este egal cu situația din faza IV, adică:

$$\alpha = 23^\circ \quad W = 3.450 \text{ t}$$
$$V = W + P + p = 3.450 + 1.100 + 320 = 4.870 \text{ t} = R$$

Momentul este de răsturnare și anume:

$$M_{răst.} = R \times \overline{AM_1} \times \sin\alpha = 4.870 \times 0{,}70 \times 0{,}391 = 1.332 \text{ tm.}$$

Dacă apa s'ar pompa foarte repede, aproape instantaneu, atunci vasul nu ar avea timp să se încline și $\alpha = 23^\circ$ ar rămâne constant. Sub acest unghiu, cuplul care acționează asupra vasului variază din cauza scăderii apei din vas W și a deplasării centrului ei de greutate E. Calculând câteva din aceste cupluri avem:

	W	M	Observații
pentru $\alpha = 23^\circ$ constant	3.450 tone	— 1.332 tone	moment de răsturnare
	1.000 »	— 1.700 »	» » »
	482 »	— 820 »	» » »
	100 »	+ 278 »	» » redresare
	0 »	+ 620 »	» » »

Dar apa nu se poate pompa instantaneu, astfel că atât timp cât apa din vas este în cantitate apreciabilă, momentul de răsturnare își produce efectul de a înclina vasul peste unghiul $\alpha = 23^\circ$.

Pentru diferite unghiuri de înclinare $\alpha = 23^\circ - 90^\circ$ avem diferite momente după cum se poate constata din diagrama alăturată (fig. 13).

Din examinarea diagramei se vede că pomparea apei odată începută trebue executată până la golirea completă sau aproape completă a vasului, căci dacă rămâne în vas mai mult de 1.000 tone de apă vasul se răstoarnă. Pomparea trebue să se facă cu o vitesă cât mai mare posibilă astfel ca să întreacă vitesa de înclinare a vasului.

In cazul nostru am avut la dispoziție două pompe a 1.200 tone/oră și alte trei pompe mai mici, în total un debit de pompare $q = 2'800$ tone/oră. Ar fi trebuit ca vasul să fie golit, socotind dela ridicarea sa

de pe fundul albiei, în:

$$3.450 \text{ tone apă} : 2.800 \text{ tone/oră} = 1\tfrac{1}{4} \text{ oră}$$

In realitate lucrul a durat 36 ore, lucrându-se în mod continuu și noaptea. Durata relativ așa de mare a pompării se datorește diferitelor incidente de lucru care se ivesc la astfel de lucrări, de exemplu în cazul de față, una din pompele mari s'a defectat dela început, una din pompele mici nu s'a putut plasa din lipsă de loc, înălțimea de tras apa mărindu-se până aproape de 8 m, debitul pompelor a scăzut considerabil, s'a oprit adesea pomparea pentru a se face cercetări diferite cu scafandrii și pentru a muta sorburile dintr'un loc în altul în interiorul vasului, etc.

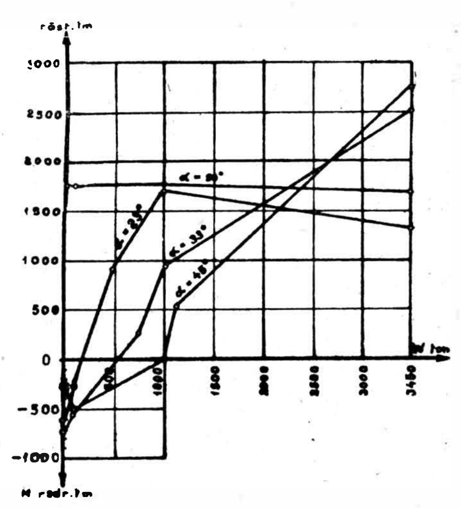


Fig. 13. — Diagrama momentelor de răsturnare în funcțiune de greutatea apei din vas și de înclinarea α a vasului.

Prevăzându-se astfel de incidente, s'au luat măsurile de siguranță menționate mai sus și anume: legarea vasului cu cabluri de oțel și scondrarea sa.

Au fost puse 10 cabluri de oțel de diametru 24—36 mm, având fiecare câte 6 toroane a câte 37 fire de oțel. Conform tabelelor, astfel de cabluri, socotind un diametru mediu de 28 mm, au rezistența de ruptură

$$R_t = 38.310 \text{ kg/cablu}$$

Forța totală de tracțiune disponibilă a fost deci (v. fig. 9)

$$\boldsymbol{F_t} = 10 \times R_t = 10 \times 38.310 \text{ kg} = 383{,}1 \text{ tone}$$

Momentul respectiv de stabilitate obținut prin acțiunea acestor cabluri la înclinarea inițială $\alpha = 23°$ a vasului și calculat la limita de ruptură a cablurilor, este:

$$M_F = F_t \times \boldsymbol{Z} = 383{,}1 \times 7{,}10 = 2.720 \text{ tm}$$

$$M_F = 2.720 \text{ tm} > M_{răst.max} = 1.700 \text{ tm.}$$

$$\text{Coeficientul de stabilitate} = c = \frac{M_F}{M_{răst.max}} = \frac{2.720}{1.700} = 1{,}6.$$

Coeficientul de stabilitate fiind mai mare decât unitatea, ar fi trebuit ca vasul să se ridice ranfluându-se complet, fără a se înclina mai mult;

iar spre sfârşitul operaţiunii el ar fi trebuit să se redreseze. In realitate lucrul nu s'a întâmplat aşa ci precum urmează:

In timpul pompării apei cablurile s'au întins foarte mult. La un moment s'a rupt un cablu, apoi altul şi mai târziu un al treilea. Aceasta a fost explicabil deoarece unele cabluri erau vechi şi fiindcă — neavând dinamometre — nu s'a putut face ca toate zece cablurile să fie absolut egal de întinse, deşi se întinseseră cu cabestane. Dar chiar dacă la început ar fi fost egal de întinse toate cablurile, ulterior prin mişcările neregulate ale vasului, ar fi rezultat implicit diferenţe de tensiuni. De asemenea nu au fost la dispoziţie nici cabluri mai multe pentru a obţine un coeficient de stabilitate mai mare. Nu s'a lăsat însă lucrul la voia întâmplării. La fiecare rupere de cablu s'au slăbit câte puţin celelalte cable, dânduse voie vasului să se încline cu câteva grade şi intensificând pomparea apei din vas cât s'a putut mai mult.

In felul acesta s'a ajuns cu vasul la înclinarea maximă $\alpha = 39°$, când mai rămăsese în vas numai circa 250—300 tone de apă. După aceasta vasul a început a se redresa. Era de aşteptat aceasta după cum rezultă din examinarea diagramei momentelor în funcţie de cantitatea apei din vas (fig. 13). Se vede că pentru $W < 250 - 300$ tone şi $\alpha = 33° - 45°$ începem să avem momente de redresare în loc de momente de răsturnare. Forţa F_t dispare căci cablurile nu rezistă la comprsesiune. Redresarea completă s'a produs după ce au fost aduse la mijlocul vasului maşinile p alunecate în spre bordul drept.

Vasul astfel ranfluat şi redresat a fost remorcat şi dus la destinaţia sa.

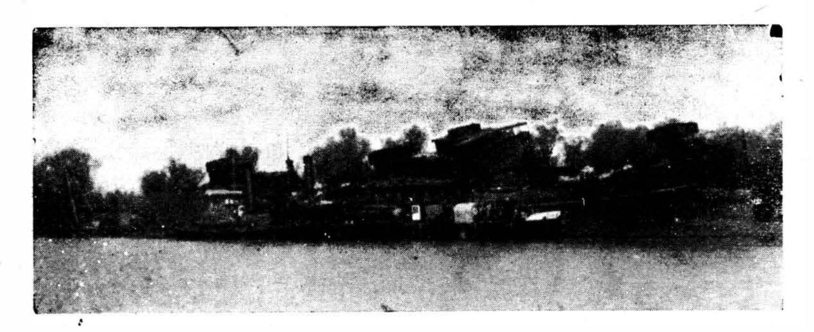


Fig. 14.—Motonava Stenka Razin r.nfluată şi aproape complet redresată.

In fig. 14 se vede o fotografie a motonavei Stenka Razin ranfluată şi aproape complet redresată. In faţa vasului se află unele aparate de salvare ale Serviciului Hidraulic.